

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-316548

(43)公開日 平成8年(1996)11月29日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 43/08			H 0 1 L 43/08	M
G 1 1 B 5/39			G 1 1 B 5/39	Z
// H 0 2 K 29/14			H 0 2 K 29/14	

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平7-116948

(22)出願日 平成7年(1995)5月16日

(71)出願人 000006264

三菱マテリアル株式会社

東京都千代田区大手町1丁目5番1号

(72)発明者 宮崎 照宣

宮城県仙台市太白区西ノ平2丁目11番5号

(72)発明者 越村 正己

埼玉県秩父郡横瀬町大字横瀬2270番地 三

菱マテリアル株式会社電子技術研究所内

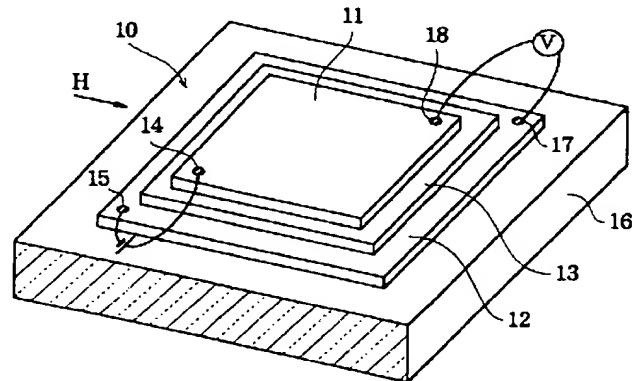
(74)代理人 弁理士 須田 正義

(54)【発明の名称】 磁気抵抗素子

(57)【要約】

【目的】 室温における抵抗変化率 ( $\Delta R/R$ ) が10%以上であって弱磁場における感度が良好で、出力波形を方形波に波形整形する必要がない。またその動作点を偏倚させる必要がなく、構造及び回路構成が簡単で小型化し得る。

【構成】 2つの強磁性薄膜11及び12を薄い絶縁層を含む非磁性膜13を挟んで接合し、これにより生じる強磁性トンネル接合を利用した磁気抵抗素子10に関し、強磁性薄膜11、12はともに膜面内に磁気異方性を有さず、薄膜11の保磁力が薄膜12の保磁力より、好ましくは2倍を越えない程度に大きく、薄膜11及び薄膜12の各磁化曲線が角形状のヒステリシス曲線を有し、全体の磁化曲線が階段状で角形状のヒステリシス曲線であることを特徴とする。



10 磁気抵抗素子	14, 15 第1電極
11 第1強磁性薄膜	16 基板
12 第2強磁性薄膜	17, 18 第2電極
13 非磁性膜	

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1強磁性薄膜(11)と第2強磁性薄膜(12)とを薄い絶縁層を含む非磁性膜(13)を挟んで接合し、これにより生じる強磁性トンネル接合を利用した磁気抵抗素子(10)において、

前記第1及び第2強磁性薄膜(11, 12)はともに膜面内に磁気異方性を有さず、

前記第1強磁性薄膜(11)の保磁力が前記第2強磁性薄膜(12)の保磁力より大きく、

前記第1強磁性薄膜(11)及び前記第2強磁性薄膜(12)のそれぞれの磁化曲線が角形状のヒステリシス曲線を有し、全体の磁化曲線が階段状で角形状のヒステリシス曲線であることを特徴とする磁気抵抗素子。

【請求項2】 第1強磁性薄膜(11)の保磁力が前記第2強磁性薄膜(12)の保磁力より2倍を越えない程度に大きい請求項1記載の磁気抵抗素子。

【請求項3】 基板(16)上に第1及び第2強磁性薄膜(11, 12)を形成するときに前記第1強磁性薄膜(11)の形成時の基板温度と第2強磁性薄膜(12)の形成時の基板温度を異ならせて前記第1及び第2強磁性薄膜(11, 12)がそれぞれ形成された請求項1記載の磁気抵抗素子。

【請求項4】 第3強磁性薄膜(31)と第4強磁性薄膜(32)とを薄い絶縁層を含む非磁性膜(33)を挟んで接合し、これにより生じる強磁性トンネル接合を利用した磁気抵抗素子(30)において、

前記第3強磁性薄膜(31)が膜面内に磁気異方性を有し、

前記第4強磁性薄膜(32)が膜面内に磁気異方性を有さず、

前記第3強磁性薄膜(31)の磁化容易軸方向に磁場を印加した場合に前記第3強磁性薄膜(31)の磁化容易軸方向の保磁力が前記第4強磁性薄膜(32)の保磁力より大きく、前記第3強磁性薄膜(31)及び前記第4強磁性薄膜(32)のそれぞれの磁化曲線が角形状のヒステリシス曲線を有し、全体の磁化曲線が階段状で角形状のヒステリシス曲線であることを特徴とする磁気抵抗素子。

【請求項5】 第3強磁性薄膜(31)の磁化容易軸方向の保磁力が前記第4強磁性薄膜(32)の保磁力より2倍を越えない程度に大きい請求項4記載の磁気抵抗素子。

【請求項6】 基板(36)上に第3及び第4強磁性薄膜(31, 32)を形成するときに前記第3強磁性薄膜(31)の形成時の基板温度と第4強磁性薄膜(32)の形成時の基板温度を異ならせて前記第3及び第4強磁性薄膜(31, 32)がそれぞれ形成された請求項4記載の磁気抵抗素子。

【請求項7】 第1強磁性薄膜(11)又は第3強磁性薄膜(31)がFeもしくはFeとCoを主成分とし、第2強磁性薄膜(12)又は第4強磁性薄膜(32)がFeを主成分とする請求項1又は4記載の磁気抵抗素子。

【請求項8】 第1強磁性薄膜(11)又は第3強磁性薄膜(31)と第2強磁性薄膜(12)又は第4強磁性薄膜(32)とがいずれもFe単層膜である請求項7記載の磁気抵抗素子。

子。

【請求項9】 絶縁層を含む非磁性膜(13, 33)が非磁性金属膜を酸化させた酸化層を含む請求項1又は4記載の磁気抵抗素子。

【請求項10】 非磁性金属膜がAlであり、その酸化層が $Al_2O_3$ である請求項9記載の磁気抵抗素子。

【請求項11】 非磁性金属膜がスパッタリング法により作製された請求項9又は10記載の磁気抵抗素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は磁気エンコーダ、磁気ヘッド、磁気バブル検出器等の感磁部に適した磁気抵抗素子に関する。更に詳しくは強磁性トンネル接合による磁気抵抗効果を利用して磁気信号を検出する磁気抵抗素子に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】図9に示すように、磁気抵抗素子として実用的に用いられている素子の感磁部1は、単層の磁気抵抗効果を有する強磁性薄膜を一定幅のストライプ状に加工した後、その長手方向(y方向)の両端に電極2, 3を形成して作られる。これらの電極2, 3に一定の電流を流し、感磁部1の幅方向(x方向)に検出すべき磁場を与えたときの電極2, 3間の電圧に基づいて算出された抵抗値から磁場が検出される。図10に示すように、従来の磁気抵抗素子は電流の流れる方向に直交する磁場の大きさによって抵抗変化率( $\Delta R/R$ )が最大2~6%変化する特性を有する。上記磁気抵抗素子はこの特性を利用してサーボモータなどの磁気式の回転センサであるFG(Frequency Generator)検出センサに用いられる。この磁気抵抗素子を回転センサとして回転ドラムの回転検出に用いた場合、図11~図13に示すように、回転軸4に永久磁石からなる回転ドラム5を取付け、このドラム表面に多極着磁パターン5aを着磁ピッチMで設け、このドラム表面に近接して設けられる磁気抵抗素子(磁気式回転センサ)6のセンサストライプ7a, 7b, 7c, 7d(抵抗値をそれぞれ $R_1, R_2, R_3, R_4$ とする)はそれぞれ間隔 $P=M/2$ で配列される。8は基板、9は出力端子である。このように構成すると、ドラム5の回転に従ってセンサストライプ7a~7dの抵抗値 $R_1 \sim R_4$ が規則的に変化し、図14に示すように入力信号Aに対して出力端子9に交流信号Bが得られる。

【0003】一方、2つの強磁性薄膜を薄い絶縁層を挟んで接合した素子において、強磁性薄膜間に一定のトンネル電流を流し、この状態で強磁性薄膜の膜面に平行に異なる磁場を与えたときの抵抗の変化により、この素子に新しい磁気抵抗効果があることが報告されている(S. Maekawa and U. Gafvert, IEEE Trans. Magn. MAG-18(1982) 707)。本発明者らは、上記2つの強磁性薄膜を薄い絶縁層を含む非磁性膜を挟んで接合し、これにより生

じる強磁性トンネル接合を利用し、2つの強磁性薄膜をそれぞれの磁化容易軸が互いに直交するように配置して設け、一方の強磁性薄膜の磁化容易軸方向の保磁力がもう一方の強磁性薄膜の磁化容易軸方向の保磁力より2倍以上大きいことを特徴とする磁気抵抗素子を発明し、特許出願した(特開平6-244477)。この強磁性トンネル接合を利用した磁気抵抗素子は室温において抵抗変化率( $\Delta R/R$ )が2%以上であって弱磁場における感度が良好で、安定して使用可能な磁場範囲を有効磁場範囲の2倍以上にすることができる特長を有する。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図9に示した従来の磁気抵抗素子の抵抗変化率( $\Delta R/R$ )は室温で通常2~3%であって、大きくても高々6%である。上述した磁気抵抗素子(磁気式回転センサ)6の出力信号は上述したように交流信号であるため、検出精度を高める上で、図15に示すように方形波信号に波形整形する必要がある。しかも図14に示すようにゼロ磁場を中心にして入力した場合には出力信号Bの振幅が小さいため、増幅回路を用いるか、或いは図16に示すように磁気抵抗素子の近くにバイアス用の磁石を設けてバイアス磁場 $H_B$ をかけることにより、出力信号Bを増幅する必要がある。また図11から明らかなようにセンサストライプのピッチPを磁極のピッチMと整合する必要がある。これらのことから、従来の磁気抵抗素子から高い出力特性を得ようとする場合、素子構造や回路構成が複雑化する不具合があった。また特開平6-244477号に開示される強磁性トンネル接合によるものは磁気による抵抗変化率が室温が5%以下と低く、その応用については未だ考慮されていない。

【0005】本発明の目的は、室温における抵抗変化率( $\Delta R/R$ )が10%以上であって、弱磁場における感度が良好で、出力波形を方形波に波形整形する必要のない、強磁性トンネル接合を利用した磁気抵抗素子を提供することにある。また本発明の別の目的は、その動作点をバイアス用磁石で偏倚させる必要がなく、構造及び回路構成が簡単で小型化し得る磁気抵抗素子を提供することにある。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、強磁性体金属において伝導電子がスピン偏極を起こしているため、フェルミ面における上向きスピンと下向きスピンの電子状態が異なっており、このような強磁性体金属を用いて、強磁性体と絶縁体と強磁性体からなる強磁性トンネル接合を作ると、伝導電子はそのスピンを保ったままトンネルするため、両磁性層の磁化状態によってトンネル確率が変化し、それがトンネル抵抗の変化となって現れると考え、この点に着目して本発明に到達した。

【0007】即ち、図1に示すように、本発明の第一の磁気抵抗素子10は、第1強磁性薄膜11と第2強磁性

薄膜12とを薄い絶縁層を含む非磁性膜13を挟んで接合し、これにより生じる強磁性トンネル接合を利用したものの改良であって、その特徴ある構成は、第1及び第2強磁性薄膜11、12がともに膜面内に磁気異方性を有さず、第1強磁性薄膜11の保磁力が第2強磁性薄膜12の保磁力より大きく、図5に示すように第1強磁性薄膜11及び第2強磁性薄膜12のそれぞれの磁化曲線が角形状のヒステリシス曲線を有し、全体の磁化曲線が階段状で角形状のヒステリシス曲線であることにある。

【0008】また図2に示すように、本発明の第二の磁気抵抗素子30は、第3強磁性薄膜31と第4強磁性薄膜32とを薄い絶縁層を含む非磁性膜33を挟んで接合し、これにより生じる強磁性トンネル接合を利用したものの改良であって、その特徴ある構成は、第3強磁性薄膜31が膜面内に磁気異方性を有し、第4強磁性薄膜32が膜面内に磁気異方性を有さず、第3強磁性薄膜31の磁化容易軸方向に磁場を印加した場合に第3強磁性薄膜31の磁化容易軸方向の保磁力が第4強磁性薄膜32の保磁力より大きく、図5に示すように第3強磁性薄膜31及び第4強磁性薄膜32のそれぞれの磁化曲線が角形状のヒステリシス曲線を有し、全体の磁化曲線が階段状で角形状のヒステリシス曲線であることにある。

【0009】以下、本発明を詳述する。

(a) 強磁性トンネル接合による磁気抵抗効果

図1~図3に示すように、基板16(又は36)上で薄い絶縁層を含む非磁性膜13(又は33)を挟んで強磁性トンネル接合した強磁性薄膜11及び12(又は31及び32)に電極14及び15(又は34及び35)をそれぞれ設け、両電極14、15(又は34、35)間に電流を流すと、両電極14、15(又は34、35)間に流れるトンネル電流は2つの強磁性薄膜11、12(又は31、32)の磁化の向きとの相互関係によって異なり、磁化の向きが変わると抵抗値が変化する磁気抵抗効果が現れる。即ち、図3の実線矢印で示すように強磁性薄膜11、12(又は31、32)の磁化の向き $M_1$ 、 $M_2$ (又は $M_3$ 、 $M_4$ )が直交するときの抵抗値を $R_0$ とすると、強磁性薄膜11、12(又は31、32)の磁化の向きがそれぞれ同一方向であるとき( $M_2$ を破線矢印で示す)には抵抗値は $[R_0 - \Delta R/2]$ となり、強磁性薄膜11、12の磁化の向きが互いに反対方向であるとき( $M_2$ を一点鎖線矢印で示す)には抵抗値は $[R_0 + \Delta R/2]$ となる。

【0010】(b) 本発明の第一の磁気抵抗素子10に固有の特徴

図1に示すように、磁気抵抗素子10の第一の特徴ある構成は2つの強磁性薄膜11、12がともに膜面内に磁気異方性を有しない点にある。このように構成することにより、最初に2つの強磁性薄膜11、12の保磁力より大きな外部磁場Hを特定の方向にかけてから外部磁場をゼロにすると、図3に示すように2つの強磁性薄膜1

1. 12の磁化の向き $M_1$ ,  $M_2$ は図3の実線の $M_1$ と破線の $M_2$ に示すように平行となり、両薄膜間の抵抗値は $[R_0 - \Delta R / 2]$ となる。次いで外部磁場の方向を今までの方向(即ち、磁化の向き $M_1$ )と反対にとり、その磁場を大きくしていくと、保磁力の小さな強磁性薄膜12の磁化の向き $M_2$ は外部磁場がその保磁力を越えたとき、図3の一点鎖線矢印に示すように外部磁場方向へ反転し、その抵抗値は $[R_0 + \Delta R / 2]$ となる。更に外部磁場が大きくなり、保磁力の大きな強磁性薄膜11の保磁力より大きくしていくと、強磁性薄膜11の磁化の向き $M_1$ が反転し、抵抗値は $[R_0 + \Delta R / 2]$ から $[R_0 - \Delta R / 2]$ になり、この状態は次に磁場を反転させ、強磁性薄膜12の保磁力を越えるまで維持される。

【0011】第1及び第2強磁性薄膜11, 12をともに膜面内に磁気異方性を保有しないようにする方法は、イオンビーム蒸着法、真空蒸着法、スパッタリング法等により、強磁性薄膜11, 12をストライプ状にする代わりに、円形、正方形などの磁化異方性のない形状にし、かつ着膜時に磁場をかけない方法が挙げられる。図1では薄膜11及び12がそれぞれ正方形の場合を示している。図1に示す薄膜11及び12を作る順序としては、基板16上に第1強磁性薄膜12を磁化異方性のない正方形などの形状にし、着膜時に磁場をかけない。次いで強磁性薄膜12の中央部に非磁性膜13を着膜し、この非磁性膜の中央部に第1強磁性薄膜11をやはり磁化異方性のない正方形などの形状にし、着膜時に磁場をかけない。即ち、2つの薄膜11, 12に関して、磁化容易軸を特定の方向に配置しないようにする。特に、第2強磁性薄膜12の上にスパッタリング法によりA1膜を形成した後、このA1膜を酸化させてその表面に $Al_2O_3$ 層を形成することにより上記非磁性膜13を作ると、非磁性膜13を均一で緻密にすることができる。

【0012】また、図1に示すように、2つの強磁性薄膜11, 12間に生じる磁気抵抗効果のみを有効に検出するために、第1強磁性薄膜11の一端と第2強磁性薄膜12の一端に両薄膜に一定電流を流すための第1電極14, 15をそれぞれ設け、第1強磁性薄膜11の他端と第2強磁性薄膜12の他端に両薄膜間に印加された電圧を測定するための第2電極17, 18をそれぞれ設けることが好ましい。

【0013】(c) 本発明の第二の磁気抵抗素子30に固有の特徴

図2に示すように、磁気抵抗素子30の第一の特徴ある構成は第3強磁性薄膜31が膜面内に磁気異方性を有し、第4強磁性薄膜32が膜面内に磁気異方性を有しない点にある。このように構成することにより、最初に2つの強磁性薄膜31, 32の保磁力より大きな外部磁場Hを強磁性薄膜31の磁化容易軸 $M_3$ 方向にかけてから外部磁場をゼロにすると、図3に示すように2つの強磁

性薄膜31, 32の磁化の向き $M_3$ ,  $M_4$ は図3の実線の $M_3$ と破線の $M_4$ に示すように平行となり、両薄膜間の抵抗値は $[R_0 - \Delta R / 2]$ となる。次いで外部磁場の方向を今までの方向(即ち、磁化の向き $M_3$ )と反対にとり、その磁場を大きくしていくと、保磁力の小さな強磁性薄膜32の磁化の向き $M_4$ は外部磁場がその保磁力を越えたとき、図3の一点鎖線矢印に示すように外部磁場方向へ反転し、その抵抗値は $[R_0 + \Delta R / 2]$ となる。更に外部磁場が大きくなり、保磁力の大きな強磁性薄膜31の保磁力より大きくしていくと、強磁性薄膜31の磁化の向き $M_3$ が反転し、抵抗値は $[R_0 + \Delta R / 2]$ から $[R_0 - \Delta R / 2]$ になり、この状態は次に磁場を反転させ、強磁性薄膜32の保磁力を越えるまで維持される。

【0014】第3強磁性薄膜31を膜面内に磁気異方性を保有させるための方法としては、図2に示すように強磁性薄膜31をイオンビーム蒸着法、真空蒸着法、スパッタリング法等によりストライプ状にして磁化容易軸 $M_3$ を得る方法、又は図示しないが円形、正方形などの磁化異方性のない形状にしかつ着膜時に磁場をかける方法、或いはこれらを組合せた方法が挙げられる。第4強磁性薄膜32を膜面内に磁気異方性を保有しないようにする方法は、前述した第1及び第2強磁性薄膜の形成方法と同じである。図2に示す薄膜31及び32を作る順序としては、先ずガラス等の基板36上に第4強磁性薄膜32を磁気異方性のない正方形などの形状にし、着膜時に磁場をかけない。次いで強磁性薄膜32の中央部に非磁性膜33を着膜し、この非磁性膜の中央部に第3強磁性薄膜31をストライプ状にかつその長手方向が磁化容易軸 $M_3$ になるように形成し、着膜時に必要により磁場をストライプの長手方向にかけると、或いは第3強磁性薄膜31を先に形成し、次いで非磁性膜33を形成し、最後に第4強磁性薄膜32を形成してもよい。

【0015】特に、第4強磁性薄膜32の上にスパッタリング法によりA1膜を形成した後、このA1膜を酸化させてその表面に $Al_2O_3$ 層を形成することにより上記非磁性膜33を作ると、非磁性膜33を均一で緻密にすることができる。また、図2に示すように、2つの強磁性薄膜31, 32間に生じる磁気抵抗効果のみを有効に検出するために、第3強磁性薄膜31の一端と第4強磁性薄膜32の一端に両薄膜に一定電流を流すための第3電極34, 35をそれぞれ設け、第3強磁性薄膜31の他端と第4強磁性薄膜32の他端に両薄膜間に印加された電圧を測定するための第4電極37, 38をそれぞれ設けることが好ましい。

【0016】(d) 本発明の第一及び第二の磁気抵抗素子10, 30に共通する特徴

磁気抵抗素子10, 30のそれぞれの第二の特徴ある構成は、強磁性薄膜11の保磁力と強磁性薄膜12の保磁力との間、又は磁化容易軸方向に磁場を印加した場合の

強磁性薄膜 31 の磁化容易軸方向の保磁力と強磁性薄膜 32 の保磁力との間に差を設けた点である。これにより磁気抵抗素子に図 4 に示すように磁場範囲 D を越える外部磁場を与えれば、その特性は可逆的に変化し、図 6 に示すように方形波出力が得られる。2 つの強磁性薄膜の保磁力差により図 4 に示される方形波出力の幅 W が決められる。

【0017】磁気抵抗素子 10、30 の第三の特徴ある構成は、第 1 強磁性薄膜 11 及び第 2 強磁性薄膜 12 のそれぞれの磁化曲線、又は第 3 強磁性薄膜 31 及び第 4 強磁性薄膜 32 のそれぞれの磁化曲線が、図 5 の符号 a 及び b に示すように破線と一点鎖線の角形状のヒステリシス曲線を有し、全体の磁化曲線が符号 c で示すように実線の階段状で角形状のヒステリシス曲線である点にある。この角形状のヒステリシス曲線を得るための具体的な手段としては、強磁性薄膜内で磁化方向がばらつかないようにすることが望ましく、着膜時にその方向に磁場を印加するか、或いは図 2 に示すようにストライプ形状とし、その長手方向と磁化容易軸とを一致させる。特に保磁力が小さいと角形状が出にくいことから、保磁力の小さい強磁性薄膜 12 又は強磁性薄膜 32 は、強磁性薄膜 11 又は強磁性薄膜 31 の大きな保磁力に近づけることが望ましい。また新規な磁気センサとして本発明の磁気抵抗素子が方形波出力を得るためには、センサと使用するとき磁場範囲 D を越える磁場を与える必要がある。このために弱磁場で方形波出力を得るためには強磁性薄膜 11 又は強磁性薄膜 31 の保磁力を比較的小さくしておく必要がある。そこで強磁性薄膜 11 又は強磁性薄膜 31 の保磁力は強磁性薄膜 12 又は強磁性薄膜 32 の保磁力より 2 倍を越えない程度に大きくすることが好ましい。

【0018】本発明の磁気抵抗素子により強磁性トンネル接合による磁気抵抗効果を高めるためには、①保磁力の大きい第 1 強磁性薄膜 11 又は第 3 強磁性薄膜 31 が Fe もしくは Fe と Co を主成分とし、保磁力の小さい第 2 強磁性薄膜 12 又は第 4 強磁性薄膜 32 が Fe を主成分とする手段か、或いは②非磁性膜 13 又は 33 に含まれる絶縁層を非磁性金属膜を酸化させた酸化層により構成する手段を採ることが考えられる。上記①及び②の両手段を組合せてもよい。双方の強磁性薄膜の主成分を Fe とする場合には、第 1 強磁性薄膜 11 又は第 3 強磁性薄膜 31 の形成時の基板温度より第 2 強磁性薄膜 12 又は第 4 強磁性薄膜 32 の形成時の基板温度を高くして双方の強磁性薄膜 11、12 又は 31、32 をそれぞれ形成することが好ましい。これにより 2 つの強磁性薄膜が同じ Fe 単層膜であっても保磁力差を付けることができる。保磁力差を 2 倍を越えないようにするには、基板温度差も 100℃以下にすることが好ましい。第 1 強磁性薄膜の保磁力を大きくする成分上の別の手段として、第 2 強磁性薄膜 12 又は第 4 強磁性薄膜の主成分を Fe

のみにし、第 1 強磁性薄膜又は第 3 強磁性薄膜の主成分を Fe と Co にする方法がある。Co 成分が多くなると異方性が出易く保磁力が大きくなる性質を利用したものである。この方法と前述した強磁性薄膜形成時の基板温度を第 2 強磁性薄膜又は第 4 強磁性薄膜の方を第 1 強磁性薄膜又は第 3 強磁性薄膜より高くする方法とを組合せてもよい。ここで主成分の割合は、第 1 強磁性薄膜又は第 3 強磁性薄膜の場合に、Fe と Co の合計が 80 at % 以上であって、第 2 強磁性薄膜又は第 4 強磁性薄膜の場合に、Fe が 80 at % 以上であることが好ましい。

【0019】強磁性薄膜 11、12 又は 31、32 に挟まれる絶縁層を含む非磁性膜 13 又は 33 が非磁性金属膜を酸化させた酸化層を含むときには、この非磁性膜 13 又は 33 は数 10 オングストローム程度の均一な層である。絶縁層としては  $Al_2O_3$  層、NiO 層等が挙げられる。 $Al_2O_3$  層が絶縁性が高く緻密であるため好ましい。強磁性薄膜 11、12 又は 31、32 に挟まれる膜は電子がスピンを保持してトンネルするために非磁性でなければならない。非磁性膜の全部が絶縁層であっても、その一部が絶縁層であってもよい。一部を絶縁層にしてその厚みを極小にすることにより、磁気抵抗効果を更に高めることができる。非磁性金属膜を酸化させた酸化層にする例としては、Al 膜の一部を空气中で酸化させて  $Al_2O_3$  層を形成する例が挙げられる。

【0020】

【作用】本発明の第一及び第二の磁気抵抗素子は、第一に 2 つの強磁性薄膜の主成分となる磁性材料として、フェルミ面における上下スピンの偏極量が大きい Fe を選定し、Co を第 2 成分として選定し、第二に例えば  $Al_2O_3$  層のような緻密で均一な薄い絶縁層を Al 膜のような非磁性金属膜を酸化させることにより形成して、磁化状態によって変化するトンネル電流による抵抗値の差を大きくし、かつ磁化状態によらず絶縁層を通して流れる電流による抵抗値を小さくすることにより、伝導電子のスピンを保持して絶縁層をトンネルすることにより生じる強磁性トンネル効果が顕著に現れ、図 4 の磁気抵抗曲線に示すように抵抗変化率 ( $\Delta R/R$ ) は 10% を越えるようになる。

【0021】また本発明の第一及び第二の磁気抵抗素子は、それぞれの 2 つの強磁性薄膜の保磁力に差を設けることにより、好ましくは 2 倍を越えない程度の差を設けることにより、図 4 に示すように磁気抵抗曲線はゼロ磁場を中心としたほぼ対称な 2 つの方形波状の波形を有する曲線となり、例えば保磁力及びその差を任意に設定すれば、この曲線に見られる閾値  $H_{c1}$  及び  $H_{c2}$  及び方形幅 ( $H_{c1} - H_{c2}$ ) を任意に設定することができる。各磁気抵抗素子の入力磁界の磁力を  $H_{c1}$  以上とすれば、図 6 に示すように出力波形自身が方形波に近い出力となる。更にその出力値を微分すれば、高い検出感度を得られる。

【0022】また本発明の第一の磁気抵抗素子 10 を回

転センサに应用する場合には、図11に示した従来の素子に代えて、図7(a)及び(b)に示すように本発明の磁気抵抗素子10を抵抗体 $R_{11}$ と組合せればよい。図7(a)は図1に対応する。更に高精度化するために温度変化の影響を取り除くには、図8(a)及び(b)に示すように作動出力をとればよい。このために、図8

(a)に示すように基板16上に2つの磁気抵抗素子10及び20を設ける。基板16上に正方形の第2強磁性薄膜12及び薄膜12と同形同大の強磁性薄膜22を間隔をあけて設けた後で薄膜12と22を結線する。次いで薄膜12及び22の上に非磁性膜13及び23をそれぞれ介して正方形の第1強磁性薄膜11及び21を設ける。磁気抵抗素子20も磁気抵抗素子10と同様に強磁性トンネル効果を有する。ここで検出側でない磁気抵抗素子20には、例えば磁気シールド膜として絶縁膜を素子との間に挟んでパーマロイ(FeNi合金)などの金属薄膜24で素子全体を覆うか、或いは素子20の第1強磁性薄膜21をAlなどの非磁性膜で形成するなどして、磁気シールドすればよい。図7及び図8において符号 $R_{11}$ 及び $R_{21}$ は磁気抵抗素子素子10及び20の各抵抗値である。なお、図示しないが、本発明の第二の磁気抵抗素子30についても図7及び図8と同様に構成することができる。

#### 【0023】

【発明の効果】以上述べたように、強磁性トンネル接合を利用した従来の磁気抵抗素子の抵抗変化率( $\Delta R/R$ )が室温で高々3%程度であり、また実用化されている強磁性体磁気抵抗素子で高々6%程度であったものが、本発明の磁気抵抗素子によれば室温でも10%以上の抵抗変化率が得られ、しかも2つの強磁性薄膜により得られる磁化曲線を角形状のヒステリシス曲線になるようにし、2つの強磁性薄膜の保磁力に差を設けることにより、方形波出力を有する磁気抵抗曲線が得られる。

【0024】また、本発明の磁気抵抗素子は弱磁場における抵抗変化率の変化が大きいため磁場の変化を感度よく検出することができ、従来の磁気抵抗素子と異なり、(a)高感度な増幅回路を必要とせず、(b)出力波形を方形波形に変更する必要がなく、(c)動作点を偏倚させるために磁石を用いてバイアス磁場を与える必要がなく、(d)素子ピッチを磁極のピッチと整合する必要がない等、構造や回路構成を簡単で小型化し得る利点がある。これにより、回転センサの磁気エンコード、磁気センサなどの磁気を検出する素子として好適に利用することができる。特に、第一の磁気抵抗素子のように2つの強磁性薄膜の両方に磁気異方性がない場合には、外部磁場方向が平面内のどの方向でも大きな抵抗変化率が得られる。この磁気抵抗素子を回転センサに利用する場合、磁気異方性の磁化容易軸方向と外部磁場方向をあわせる必要がないため、センサ取付け時の調整が容易である。また第二の磁気抵抗素子のように片方の強磁性薄膜にのみ

磁気異方性を持つ場合には、この膜の磁化容易軸方向と外部磁場方向を一致させる必要があるものの、両方に磁気異方性がある場合に比べて両者の磁化容易軸を正確に揃える必要がないため磁気抵抗素子の製造が容易である。

#### 【0025】

【実施例】次に本発明の実施例を説明する。

＜実施例1＞図1に示すように、真空蒸着によりガラス基板16の上にマスクを用いて10mm×10mmの正方形形状で厚さ100nmのFe薄膜12を作製した。その際磁場を与えず、かつ膜の保磁力を小さくするために基板温度を100℃とした。またこのときの蒸着速度は0.3~0.6nm/秒で真空度は約 $10^{-6}$ Torrであった。次いでこのFe薄膜12の中心部にマスクを用いて厚さ5nmで9mm×9mmの正方形形状のAl膜13を高周波スパッタリングにより着膜させた。その際アルゴン圧は1.5mTorr、投入電力は4.4W/cm<sup>2</sup>、スパッタリング速度は0.56nm/秒であった。このAl膜13を空气中に24時間放置して表面を酸化させ、薄いAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる絶縁層を形成した。更にAl膜13の中心部にマスクを用いて上記のFe薄膜12より小さい正方形形状の8mm×8mmのFe薄膜11を作製した。この成膜方法はFe薄膜11の保磁力を大きくするために基板温度を室温にした以外は、Fe薄膜12と同一条件で作製した。即ちFe薄膜12及び11はともに膜面内に磁気異方性を有しないようにした。

【0026】Fe薄膜11及び12の各一端に電極14及び15を設け、それぞれ他端に電極17及び18を設けて磁気抵抗素子10を得た。温度25℃において、基板16の表面に平行にかつ図の矢印方向に磁場Hを磁気抵抗素子10に与え、電極14及び15に一定電流を流し、電極17及び18によりFe薄膜11と12との間の電圧を測定した。この電流値と電圧値より素子10の抵抗を算出した。

【0027】図4の磁気抵抗曲線に示すように、磁場Hの強さを変えたときの抵抗変化率( $\Delta R/R$ )は最大で18%の極めて高い値であった。この磁気抵抗曲線はゼロ磁場を中心とした対称な2つのほぼ方形波状の波形を有する曲線である。これは図5に示すように、2つの強磁性薄膜がいずれも角形状のヒステリシス曲線を持つ磁化曲線を有するためである。磁気抵抗曲線の方形波の閾値及びその幅は、基板温度を変えて強磁性薄膜を作製すれば、任意に設定することができる。本実施例の磁気抵抗素子10を用いて図7(a)に示す構成の回転センサを試作したところ、図6に示すような特別に波形整形することなく方形波の出力特性が得られた。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気異方性を有しない2つの強磁性薄膜により強磁性トンネル接合を構成した磁気抵抗素子の斜視図。

【図2】本発明の一方の強磁性薄膜が磁気異方性を有しない2つの強磁性薄膜により強磁性トンネル接合を構成した磁気抵抗素子の斜視図。

【図3】本発明の強磁性トンネル接合を利用した磁気抵抗素子の原理を示す斜視図。

【図4】図1及び図2に示した磁気抵抗素子の磁気抵抗曲線図。

【図5】その磁化曲線図。

【図6】その入力磁界に対する出力特性を示す図。

【図7】(a) 図1に示した磁気抵抗素子を用いた回転センサの構成図。

(b) その等価回路図。

【図8】(a) 図7(a)の回転センサを更に高感度化した場合の構成図。

(b) その等価回路図。

【図9】従来例の強磁性磁気抵抗効果を利用した磁気抵抗素子の斜視図。

【図10】その磁気抵抗曲線。

【図11】従来例の磁気抵抗素子を用いた回転センサの原理を示す図。

【図12】その回転センサの構成を示す斜視図。

【図13】図11の等価回路図。

【図14】従来例の磁気抵抗素子を用いてバイアス磁場のない場合の入力磁界に対する出力特性を示す図。

【図15】その出力波形と整形後の波形を示す図。

【図16】従来例の磁気抵抗素子を用いてバイアス磁場のある場合の入力磁界に対する出力特性を示す図。

【符号の説明】

10, 20 第一の磁気抵抗素子

30 第二の磁気抵抗素子

11, 21 第1強磁性薄膜

12, 22 第2強磁性薄膜

13, 23 非磁性膜

14, 15 第1電極

16 基板

17, 18 第2電極

31 第3強磁性薄膜

32 第4強磁性薄膜

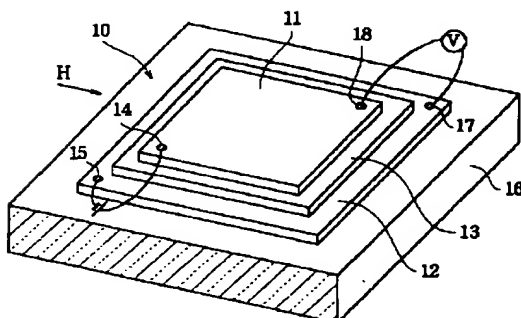
33 非磁性膜

34, 35 第3電極

36 基板

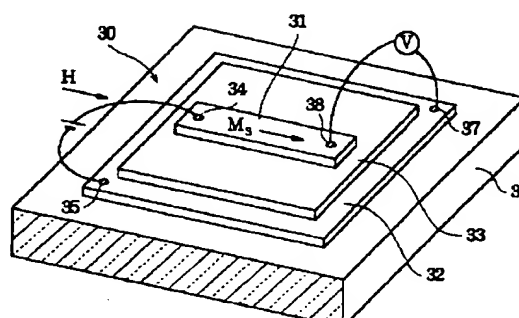
37, 38 第4電極

【図1】



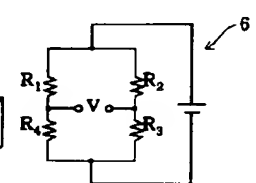
10 磁気抵抗素子  
11 第1強磁性薄膜  
12 第2強磁性薄膜  
13 非磁性膜  
14, 15 第1電極  
16 基板  
17, 18 第2電極

【図2】

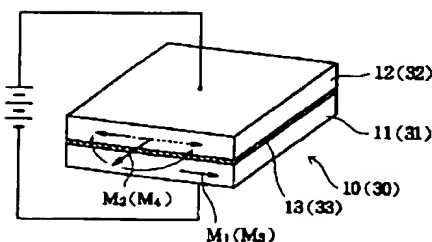


30 磁気抵抗素子  
31 第3強磁性薄膜  
32 第4強磁性薄膜  
33 非磁性膜  
34, 35 第3電極  
36 基板  
37, 38 第4電極

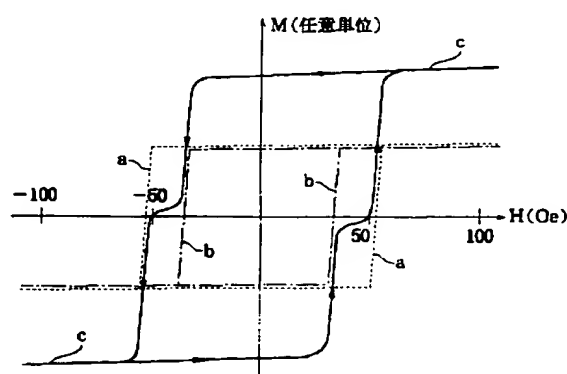
【図13】



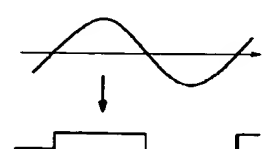
【図3】

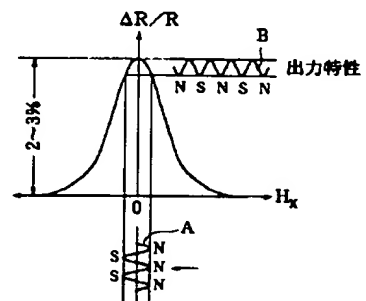
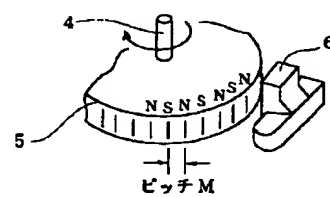
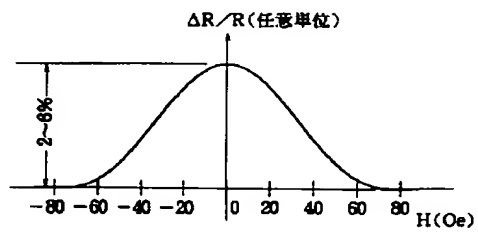
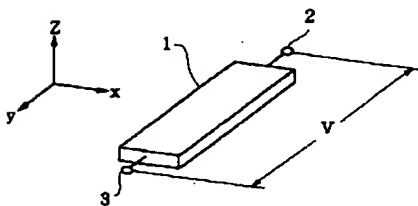
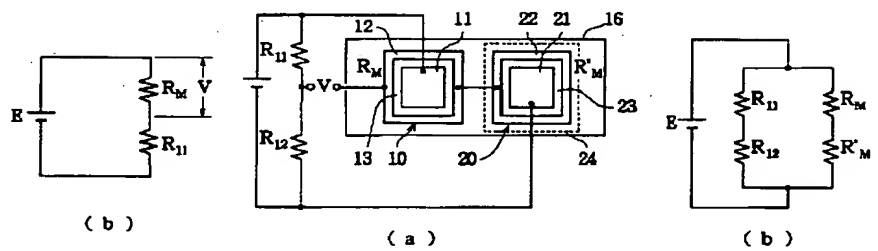
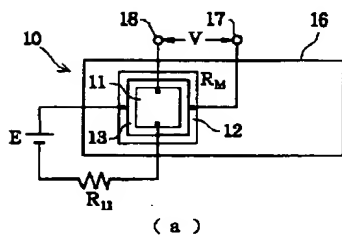
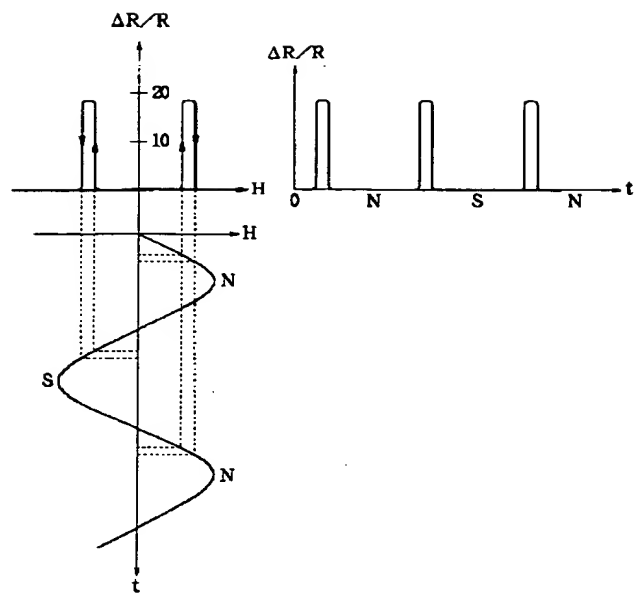
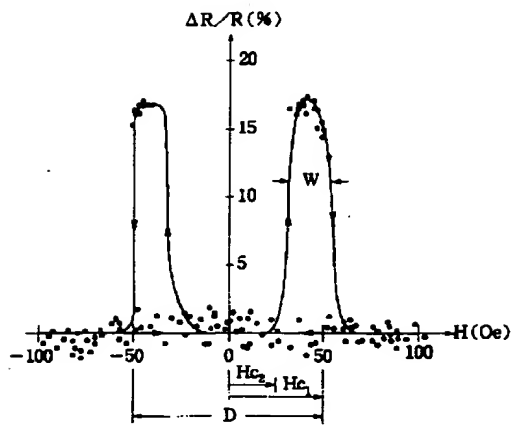


【図5】



【図15】







【例 16】

